



PCT/FR 2004/050738

REC'D 04 MAR 2005

WIFI-G

# BREVET D'INVENTION

**CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION**

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 14 FEV. 2005

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

**DOCUMENT DE  
PRIORITÉ**

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA RÈGLE  
17.1. a) OU b)

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr





# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

26bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 Paris Cédex 08  
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livre VI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES: N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: DATE DE DÉPÔT:	Albert GRYNWALD Cabinet GRYNWALD 127 rue du Faubourg Poissonnière 75009 PARIS France
Vos références pour ce dossier: B10945 FR	

## 1 NATURE DE LA DEMANDE

Demande de brevet

## 2 TITRE DE L'INVENTION

Procédé et dispositif de nettoyage d'une surface au moyen d'un faisceau laser.

## 3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE

Pays ou organisation      Date      N°

## 4-1 DEMANDEUR

Nom	COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE
Rue	31-33 rue de la Fédération
Code postal et ville	75015 PARIS
Pays	France
Nationalité	France
Forme juridique	Etablissement public

## 5A MANDATAIRE

Nom	GRYNWALD
Prénom	Albert
Qualité	CPI: 95-1001, Pas de pouvoir
Cabinet ou Société	Cabinet GRYNWALD
Rue	127 rue du Faubourg Poissonnière
Code postal et ville	75009 PARIS
N° de téléphone	01 53 32 77 35
N° de télécopie	01 53 32 77 94
Courrier électronique	cabinet.grynwald@wanadoo.fr

## 6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS

	Fichier électronique	Pages	Détails
Texte du brevet	textebrevet.pdf	16	D 13, R 2, AB 1
Dessins	dessins.pdf	3	page 3, figures 2, Abrégé: page 3, Fig.2
Désignation d'inventeurs			

<b>7 MODE DE PAIEMENT</b>				
Mode de paiement		Prélèvement du compte courant		
Numéro du compte client		3339		
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>				
Etablissement immédiat				
<b>9 REDEVANCES JOINTES</b>				
	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062 Dépôt	EURO	0.00	1.00	0.00
063 Rapport de recherche (R.R.)	EURO	320.00	1.00	320.00
068 Revendication à partir de la 11ème	EURO	15.00	4.00	60.00
Total à acquitter	EURO			380.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par

Signataire: FR, Cabinet Grynwald, A.Grynwald

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)



## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

### Réception électronique d'une soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou de certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été attribués automatiquement.

Demande de brevet : X

Demande de CU :

<b>DATE DE RECEPTION</b>	19 décembre 2003	<b>Dépôt en ligne: X</b> <b>Dépôt sur support CD:</b>
<b>TYPE DE DEPOT</b>	INPI (PARIS) - Dépôt électronique	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI</b>	0351153	
<b>Vos références pour ce dossier</b>	B10945 FR	

#### DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale	COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE
Nombre de demandeur(s)	1
Pays	FR

#### TITRE DE L'INVENTION

Procédé et dispositif de nettoyage d'une surface au moyen d'un faisceau laser.

#### DOCUMENTS ENVOYES

package-data.xml	Requetefr.PDF	fee-sheet.xml
Design.PDF	ValidLog.PDF	textebrevet.pdf
FR-office-specific-info.xml	application-body.xml	request.xml
dessins.pdf	indication-bio-deposit.xml	

#### EFFECTUE PAR

Effectué par:	A.Grynwald
Date et heure de réception électronique:	19 décembre 2003 18:56:03
Empreinte officielle du dépôt	75:21:5A:B5:EE:4A:41:32:D6:DB:BB:52:50:A2:33:CB:68:6E:71:21

/ INPI PARIS, Section Dépôt /

SIEGE SOCIAL  
INSTITUT 26 bis, rue de Saint Petersburg  
NATIONAL DE 75800 PARIS cedex 08  
LA PROPRIÉTÉ Téléphone : 01 53 04 53 04  
INDUSTRIELLE Télécopie : 01 42 93 59 30

## PROCEDE ET DISPOSITIF DE NETTOYAGE D'UNE SURFACE AU MOYEN D'UN FAISCEAU LASER.

La présente invention se rapporte à un procédé et à un dispositif de nettoyage d'une surface au moyen d'un faisceau laser, notamment lorsque cette surface est située dans une zone contaminée.

5 On utilise un faisceau laser 104 (figure 1a), généralement impulsionnel, pour vaporiser ou sublimer des particules présentes sur une surface 100 afin de nettoyer cette dernière. Un tel procédé, dit d'ablation laser, est utilisé pour différentes applications telles que la restauration d'ouvrages ou la décontamination de surfaces.

10 L'ablation laser peut présenter l'inconvénient de provoquer la contamination du générateur 102 du faisceau laser 104 lorsque ce dernier est utilisé pour traiter une paroi située dans une zone 106 contaminée, par exemple radioactive.

15 Une telle contamination du générateur 102 entraîne un coût élevé pour le traitement de la surface 100 puisque le générateur 102 doit être décontaminé à son tour, voire même remplacé si le générateur ne peut pas être décontaminé.

20 De plus, les éléments 112 de pompage, c'est-à-dire fournissant l'énergie destinée à générer le faisceau laser, et de refroidissement du générateur 102 peuvent aussi être contaminés, ce qui augmente à nouveau le coût du traitement de la surface 100.

Par ailleurs, lorsque la surface traitée est située dans une zone 106 de faibles dimensions ou difficilement accessible, par exemple à l'intérieur d'une canalisation, l'application du faisceau laser sur cette surface 100 peut être complexe étant donné l'encombrement important d'un dispositif laser comprenant le générateur laser 102 et les éléments 112 de pompage et de refroidissement.

Selon un deuxième procédé d'ablation laser décrit à l'aide de la figure 1b, on situe le générateur laser 102 et son dispositif 112 de pompage et de refroidissement à l'extérieur de la zone 106 contaminée, une fibre optique 105 transmettant le faisceau laser émis par le générateur 102 jusqu'à la surface à traiter.

Un tel procédé présente un inconvénient lié à la capacité limitée de transport d'un rayonnement électromagnétique par une fibre optique, notamment en termes d'énergie et de puissance.

De fait, les capacités de transport d'énergie des fibres actuelles sont de l'ordre de 50 millijoules pour une puissance moyenne de 200 à 300 watts tandis qu'un procédé d'ablation peut requérir des puissances supérieures à ces capacités de manière à être économiquement rentable, et notamment une puissance moyenne supérieure à 500 watts.

Dans un cas particulier, le faisceau 104 laser de nettoyage est transmis via la fibre optique 105 jusqu'à un amplificateur 103, situé dans la zone contaminée, amplifiant le faisceau laser avant de l'appliquer sur la surface 100 traitée, comme décrit par exemple dans les brevets EP0475806 ou EP0507641 déposés au nom de Framatome.

Ce cas particulier présente divers inconvénients. Ainsi, l'amplificateur 103 et ses éléments 103' de refroidissement et de pompage peuvent résulter contaminés, ce qui augmente le coût de traitement de la surface 100.

Ce coût est aussi accru par l'utilisation d'un amplificateur qui augmente, en outre, la complexité du procédé.

Finalement, la maniabilité de l'amplificateur 103 est limitée par son poids et son encombrement, ainsi que par le poids et

l'encombrement de ses éléments 103' de pompage et de refroidissement.

5 Dès lors, le traitement de surfaces situées dans des zones de dimensions réduites et/ou difficilement accessibles est difficilement réalisable avec un tel procédé.

10 Finalement, il convient de souligner que les procédés faisant intervenir la transmission du rayon laser d'ablation par une fibre optique présente un inconvénient dû à la contrainte imposée sur le choix de la longueur d'onde du rayonnement puisqu'une fibre atténue fortement les rayonnements se propageant à certaines longueurs d'ondes, comme décrit en détail ultérieurement.

15 Selon un troisième procédé décrit à l'aide de la figure 1c, on utilise des miroirs 107 situés dans la zone contaminée 100 de façon à diriger le faisceau laser 104, émis depuis une zone non contaminée 108, sur la paroi traitée 100. De fait, dans ce cas, seuls les miroirs 107 et le bras robotisé 107' contrôlant ces miroirs sont contaminés lors du traitement de la paroi.

20 Cependant, un tel procédé à miroirs présente divers inconvénients. Ainsi, il requiert un hublot 118, situé entre la zone contaminée 106 et la zone non contaminée 108, afin de permettre le passage du faisceau laser 104.

25 En outre, ce procédé nécessite un dispositif à miroirs encombrant, complexe à contrôler et requérant une installation spécifique à la surface et/ou à l'installation traitée.

30 Par ailleurs, il convient de noter que les lasers ayant un milieu amplificateur solide, en particulier les lasers Nd:YAG, sont les lasers les plus fréquemment utilisés dans les procédés d'ablation laser en combinaison avec un système de pompage par lampes à décharge, ce dernier tendant à être remplacé par un système de pompage utilisant des diodes laser.

En effet, les lasers de ce type sont plus efficaces, plus compacts et nécessitent moins de maintenance, de refroidissement, et d'énergie mais les diodes laser sont des composants coûteux.

35 De plus, les éléments de pompage requièrent une capacité de refroidissement généralement plus importante que le générateur



laser auquel ils sont associés et, par conséquent, le circuit de refroidissement de ces éléments de pompage est plus encombrant que le circuit de refroidissement du générateur.

De fait, les éléments de pompage représentent généralement plus de 50% du coût du dispositif laser auquel ils sont associés. Lorsque les électroniques d'alimentation et les éléments de refroidissement sont aussi considérés, ces éléments de pompage, d'alimentation et de refroidissement peuvent représenter 90% du coût du dispositif laser.

Par ailleurs, un second aspect de l'invention résulte du fait que l'utilisation d'un laser utilisant un faisceau de longueur d'onde située dans l'ultraviolet (UV), dénommé faisceau UV par la suite, peut être particulièrement intéressant pour effectuer une ablation laser comme décrit dans le brevet FR 9300723 ou dans le document de D. Bauërle intitulé "Laser processing and Chemistry", 3d edition, Springer Verlag, Berlin, 2000, pp 515-516.

Dans ce dernier document, il est décrit comment la décontamination d'une surface est améliorée par l'utilisation d'un liquide absorbant les radiations de longueur d'onde comprise dans l'ultraviolet de telle sorte que, lorsque cette surface est soumise à l'ablation laser, l'ébullition rapide de gouttelettes de liquide proches de la surface augmente l'efficacité du nettoyage.

Cependant, un dispositif laser à fibre optique tel que décrit à l'aide de la figure 1b ne peut pas être mis en place pour un laser UV puisqu'une fibre optique transmet un faisceau laser UV avec un très faible rendement, une perte de l'ordre de 7 à 10% de la puissance transmise par mètre parcouru étant généralement subie par ce faisceau.

Dans certains cas, ces pertes peuvent atteindre jusqu'à 20% de la puissance transmise par mètre parcouru, comme décrit dans "Surface Oxide removal by a XeCl laser for decontamination", Quantum Elec., 30 (6), PP, 495-500 (2000).

Dès lors, il est nécessaire d'introduire la cavité de faisceau laser UV dans la zone contaminée, ce qui provoque la contamination de ce générateur, comme décrit à l'aide de la figure 1a, augmentant

ainsi le coût de la décontamination.

En outre, l'utilisation d'un faisceau laser ultraviolet pour décontaminer une paroi peut présenter d'importants inconvénients, notamment dans une installation nucléaire. En effet, les lasers UV sont  
5 généralement des lasers à excimères, c'est-à-dire utilisant des mélanges de gaz éventuellement toxique tels que du fluor ou du chlore, ces mélanges de gaz étant excités par une décharge électrique courte et intense qui peut créer des rayonnements électromagnétiques déclenchant des dispositifs d'alarme, notamment d'une centrale  
10 nucléaire.

La présente invention se propose d'utiliser des lasers solides pompés par diode afin de remédier à au moins un des inconvénients mentionnés, c'est-à-dire qu'elle permet de s'affranchir d'au moins une des contraintes déjà mentionnée liée :

- 15 - à un encombrement excessif du dispositif laser,
- aux limitations imposées par les capacités de transports énergétiques des fibres optiques vis-à-vis des rayons lasers,
- aux perturbations électromagnétiques qu'un générateur de rayon laser peut provoquer à l'encontre d'un système de détection  
20 de rayonnement électromagnétique,
- à un coût important d'un système de pompage par diodes,
- à une éventuelle atténuation du rayonnement transmis par des fibres optiques,
- à une perturbation électromagnétique dans un milieu  
25 sensible à de telles perturbations,
- à l'utilisation d'un composé toxique dans un milieu à risque.
- à une contamination de la cavité laser.

C'est pourquoi, l'invention concerne un procédé d'ablation  
30 laser d'une surface située dans une zone de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser émis par une cavité associée à des moyens de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité, caractérisé en ce qu'on associe la cavité aux moyens de pompage par l'intermédiaire d'une fibre optique transmettant le

rayonnement électromagnétique de telle sorte que ces moyens de pompage soient maintenus à l'extérieure de la zone de nettoyage.

5 Ainsi, le procédé conforme à l'invention permet de traiter une surface à l'aide d'un générateur de rayon laser de grande maniabilité puisque les moyens de pompage et les éléments de refroidissement, distants de la cavité, ne doivent pas être pris en compte pour orienter le faisceau laser.

10 De plus, un procédé conforme à l'invention limite le coût d'une décontamination puisque les moyens de pompage alimentant le faisceau laser sont maintenus en dehors de la zone de nettoyage, ce qui permet leur réutilisation avec différentes cavités laser.

15 Finalement, il est important de noter que l'invention permet de disposer d'un faisceau laser d'énergie importante puisque ce faisceau n'est pas transmis par une fibre et ne subit donc pas d'atténuation.

Par ailleurs, des variantes de l'invention permettent de générer un faisceau laser UV à partir d'un faisceau laser de longueur d'onde plus élevée.

20 Ainsi, dans une réalisation de l'invention, on considère que le procédé de décontamination d'une surface par ablation utilise un faisceau laser de longueur d'onde située dans l'ultraviolet. A cet effet, on utilise au moins un cristal non linéaire pour diminuer la longueur d'onde du faisceau laser afin que cette longueur d'onde soit comprise dans le domaine ultraviolet (typiquement  $\leq 400$  nm).

25 Ainsi, grâce à l'invention, on génère un faisceau laser UV à partir d'un faisceau laser de longueur d'onde distincte. A ce stade, il convient de noter que cette réalisation de l'invention peut être généralisée à la génération de faisceau laser de toute longueur d'onde ne pouvant être transmise de façon satisfaisante par l'intermédiaire d'une fibre.

30 Il est important de souligner que l'utilisation d'un cristal non-linéaire dans le traitement d'une surface située dans une zone de nettoyage est avantageuse malgré le faible rendement de transformation de la longueur d'onde d'un faisceau laser au moyen d'un cristal.

35

Dans une réalisation, le nettoyage s'effectue dans un environnement toxique, par exemple radioactif, de telle sorte que la zone de nettoyage est considérée comme une zone contaminée.

5 Selon une réalisation, le faisceau laser d'ablation est émis de façon impulsionnelle.

Dans une réalisation, le rayonnement électromagnétique de pompage est fourni de façon continue par la fibre optique.

10 Selon une réalisation, une pluralité de fibres étant utilisée pour transmettre l'énergie de pompage, cette énergie de pompage est diffusée transversalement par rapport à l'axe du milieu laser situé dans la cavité.

Dans une réalisation, l'énergie de pompage est transmise par des diodes fibrées.

15 Selon une réalisation, la surface nettoyée est radioactive.

Dans une réalisation, on modifie la longueur d'onde du faisceau laser généré par la cavité au moyen d'au moins cristal non linéaire afin que cette longueur d'onde soit comprise dans le domaine UV.

20 Selon une réalisation, la longueur d'onde modifiée est inférieure à 400 nm.

Dans une réalisation, on dépose une couche de liquide ou des gouttelettes sur la surface traitée.

Selon une réalisation, la fibre a une longueur supérieure à cinq mètres.

25 L'invention concerne aussi dispositif d'ablation laser d'une surface située dans une zone de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser émis par une cavité associée à des moyens de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité, caractérisé en ce qu'il comprend une fibre optique transmettant le rayonnement électromagnétique des moyens de pompage à la cavité selon l'un des  
30 procédés conformes à l'une des réalisations précédentes.

L'invention concerne aussi un système robotisé d'ablation laser d'une surface comprenant un dispositif conforme à l'invention, caractérisé en ce qu'il comprend un bras articulé apte à effectuer un  
35 balayage de la surface à ablater.

Dans une réalisation, la surface à ablater est dans un environnement fortement radioactif, et le bras articulé est un robot apte à fonctionner en présence de rayonnements nucléaires ambiants.

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description effectuée ci-dessous, à titre illustratif et non limitatif, en faisant référence aux figures ci-jointes sur lesquelles:

- les figures 1a, 1b et 1c, déjà décrites, représentent des procédés connus de décontamination de surface par ablation laser,
- 10 - la figure 2 est un schéma d'un dispositif d'ablation conforme à l'invention, et
- les figures 3a et 3b sont des schémas relatifs à une disposition avantageuse autour d'un générateur laser des moyens de pompage conformes à l'invention.

15 Sur la figure 2 est représenté un dispositif 200 d'ablation laser conforme à l'invention, c'est-à-dire tel que le dispositif 202 de pompage générant la lumière alimentant le générateur 204 du faisceau laser est associé à ce dernier par l'intermédiaire d'une fibre 210.

20 Par ailleurs, dans cette réalisation on considère que la surface à traiter est contaminée par un élément toxique, c'est-à-dire nocif à la santé d'un individu, de telle sorte que l'ablation de la surface provoque la formation d'une zone contaminée, à l'intérieure de laquelle l'environnement est également toxique, et d'une zone non contaminée isolée de la zone contaminée.

25 Le dispositif 202 de pompage est situé dans une zone non contaminée 208 protégée de la zone contaminée et confinée 206 dans laquelle est situé le générateur 204. Ainsi, seule la cavité, ou générateur, 204 risque d'être contaminé dans la zone 206 contaminée tandis que, dans la zone non contaminée 208, les différents éléments  
30 du dispositif 202 de pompage, et notamment ses moyens d'alimentation électrique et de refroidissement, sont protégés de toute contamination.

35 Par ailleurs, dans la zone contaminée 206 l'ensemble du dispositif 214 d'ablation comprend, outre le générateur 204 du

faisceau laser, des éléments tels que des roulettes 220, permettant de déplacer ce générateur 204 du faisceau laser de telle sorte que le faisceau laser 216 émis ait une incidence donnée.

De préférence, cette incidence est constante et  
5 avantageusement choisie normale par rapport à la surface 218 traitée. De fait, une telle incidence normale entraîne les rendements les plus élevés pour la plupart des procédés d'ablation.

Le dispositif 214 peut aussi être associé à des moyens 222  
10 de pulvérisation d'eau pour générer la présence de fines gouttelettes d'eau, ou d'un film d'eau, sur la surface traitée 218 et améliorer ainsi la performance de la décontamination si le faisceau laser a une longueur d'onde comprise dans l'UV, comme précédemment décrit.

De fait, le générateur laser 204 peut émettre un faisceau  
15 laser de longueur d'onde située dans le domaine UV grâce à l'utilisation d'un cristal non linéaire 224 transformant la longueur d'onde du faisceau laser émis 216.

En d'autres termes, la cavité laser 204 génère un faisceau  
20 laser 216 de longueur d'onde comprise dans ou supérieure au domaine infrarouge, cette longueur d'onde étant modifiée un (ou plusieurs) cristal (cristaux) non linéaire(s) 224 avant d'atteindre la surface à traiter.

Un cristal non linéaire doubleur de fréquence, permettant de  
diviser par deux la longueur d'onde du faisceau laser, peut être utilisé. Pour diviser cette longueur d'onde par trois ou quatre, il est possible  
25 d'utiliser plusieurs cristaux non linéaires.

Ainsi, en considérant un laser Nd-YAG émettant un faisceau  
laser avec une longueur d'onde  $\lambda$  de 1,064  $\mu\text{m}$ , on peut obtenir un  
30 faisceau laser de longueur d'onde égale à 532 nm (visible), 355 nm (proche UV) ou 266 nm (UV) en fonction de la nature du ou des cristaux utilisés.

La taille du faisceau laser varie avec l'application  
considérée; elle est typiquement de l'ordre de un à quelques  
millimètres.

Selon une variante destinée à uniformiser la dose reçue par  
35 chaque élément de surface à traiter, on utilise un homogénéiseur qui

reçoit le faisceau laser de section quasi circulaire et le transforme en un faisceau de section carré et homogène. De tels dispositifs sont connus de l'homme du métier.

5 Selon une seconde variante, généralement utilisée en combinaison avec la variante précédente, on place une tête de déviation galvanométrique sur le faisceau laser, entre d'une part soit la sortie de la cavité laser soit la sortie d'éventuels dispositifs de mise en forme ou d'homogénéisation du faisceau, s'il y a lieu, et d'autre part la surface à traiter. Un tel dispositif galvanométrique, lui aussi connu de  
10 l'homme du métier, comprend notamment deux miroirs, chacun monté sur un galvanomètre, et un dispositif de commande des galvanomètres.

Une telle tête galvanométrique permet de faire balayer le faisceau laser sur une surface carrée dont le côté est, par exemple, de  
15 l'ordre de cinq à dix centimètres.

Dans les applications de l'invention à l'industrie nucléaire, les particules sublimées sont préférentiellement récupérées par un dispositif d'aspiration 226 commandé depuis la zone non contaminée 206. Ce dispositif comprend une turbine 228 et un container 230 qui  
20 stockent les déchets de la décontamination.

Selon une variante de l'invention, habituellement mise en œuvre dans l'industrie nucléaire, un gaz neutre est diffusé au voisinage de la surface traitée par ablation de façon à éviter des réactions chimiques telles que des réactions d'oxydation.

25 Dans une variante de l'invention, un gaz oxydant est diffusé au voisinage de la surface traitée de façon à accélérer des réactions chimiques, telles que des réactions d'oxydation.

Selon la réalisation de l'invention correspondant à la figure 2, le générateur laser 204 comprend une cavité laser munie d'un  
30 barreau 232 de Nd-YAG, situé entre un miroir de fond de cavité 234 et un miroir semi-réfléchissant 236, qui est entouré par un circuit de refroidissement 238 dont l'alimentation 240 est située hors de la zone contaminée 206.

Dans cette zone non contaminée 208 est disposée  
35 l'alimentation électrique (non représentée) qui alimente différents

composants du système tels que le circuit de commande des diodes laser 215 utilisées pour transmettre l'énergie de pompage au générateur 203 comme décrit ultérieurement, l'alimentation 240 de refroidissement du générateur, la turbine 228 d'aspiration des déchets ou le système 222 de pulvérisation d'eau.

Conformément à l'invention, les diodes laser 215 alimentent le générateur 204 laser en énergie de pompage par l'intermédiaire d'une fibre optique 210, l'utilisation d'une telle fibre optique permettant d'optimiser ce pompage comme expliqué ultérieurement à l'aide des figures 3a et 3b.

Conformément à une réalisation préférée de l'invention, les diodes laser fournissent un pompage continu, d'une puissance de plusieurs kilowatts tandis que la cavité laser crée une émission impulsionnelle avec une puissance crête de l'ordre de 400 kW et pouvant atteindre 1 MW.

Aussi, il convient de noter que le faisceau transmis par les fibres optique est faiblement atténué car le rayonnement de pompage peut être transmis selon une longueur d'onde faiblement atténuée dans la fibre.

A ce stade, il convient de souligner qu'une atténuation est considérée comme faible lorsqu'elle ne dépasse pas 25 pour cent sur l'ensemble de la longueur de la fibre, cette longueur étant de plusieurs mètres, voire dizaines de mètres.

Sur la figure 3a est représenté un générateur 300 laser comprenant un barreau 302 laser, éventuellement un système de déclenchement, un miroir de fond de cavité 302a, d'un miroir semi-réfléchissant 302b, des diodes laser fibrées 306 et un circuit de refroidissement 308.

Il convient de noter que ces diodes lasers et ce circuit de refroidissement ne sont représentés que selon une longueur du générateur 300 pour des raisons de clarté.

De fait, dans une réalisation préférée, ces moyens entourent la cavité 300 afin de fournir à cette dernière un éclairage maximal en lumière de pompage.

Pour cela, la faible taille de ces fibres 310 permet de rendre



dense le système de pompage, en termes de diodes fibrées par unité de surface du générateur 302, grâce à la faible taille de ces fibres.

En d'autres termes, un nombre important de fibres peuvent être disposées autour du barreau.

5 La longueur d'onde du faisceau émis par les diodes fibrées est choisie en fonction de la nature du barreau. Dans cette réalisation utilisant un barreau laser Nd-YAG, la longueur d'onde du faisceau d'alimentation se situe autour de 808 nm.

10 Selon une variante de l'invention, on utilise une électrode, créant un champ électrique important, pour attirer et capter les particules sublimées sous l'effet du laser. Ces particules sont alors stockées dans un container comme dans le cas de l'aspiration.

15 Il convient de signaler que l'invention permet l'utilisation d'un dispositif muni de fibres pouvant avoir une longueur supérieure à dix mètres étant donnée la faible atténuation du rayonnement transmis par les fibres, ce qui permet alors d'utiliser le système d'ablation dans des installations de grandes dimensions telles que les centrales nucléaires.

20 On prévoit, dans le mode préférentiel de mise en oeuvre de l'invention, qu'un bras articulé, apte à effectuer un balayage de la surface à ablater, assure les déplacements de la cavité laser. Ce bras articulé pouvant être un robot apte à évoluer dans l'environnement considéré.

25 En fonction des variantes de l'invention, on peut prévoir que ce bras articulé porte aussi des moyens pour aspirer les résidus d'ablation, des moyens pour confiner les gaz d'ablation au voisinage de la surface traitée, des moyens pour déplacer ces moyens de confinement le long de la surface traitée, comme par exemple des roulettes et/ou des moyens pour injecter des gaz assurant  
30 l'entraînement des résidus d'ablation.

Dans une réalisation préférée de l'invention, le dispositif de nettoyage est appliqué à la décontamination des surfaces d'une cellule chaude propre à l'industrie nucléaire. Dans ce cas, on fixe le dispositif de nettoyage à l'extrémité d'un système robotisé apte à effectuer un  
35 balayage de la surface à nettoyer dans un environnement fortement

radioactif.

Le bras robotisé doit alors être apte à fonctionner dans le rayonnement nucléaire ambiant, par exemple en utilisant des capteurs en technologie bobinée tels que des resolvers ou des transformateurs différentiels à variation linéaire (en anglais, LVDT: Linear Variable Differential Transformer), ou encore des codeurs optiques dont tous les composants actifs sont déportés en zone non radioactive. A titre indicatif, un robot Stäubli de type RX 170L convient bien à ce type d'applications. Ses capteurs de position angulaire sont des resolvers, et plus précisément l'association d'un resolver de vitesse 0 et d'un resolver de vitesse  $n$  afin d'obtenir un codage absolu. Ils supportent 104 rads, et en cas de besoin, les mêmes resolvers sont réalisables en version durcie. Sa motorisation est électrique pour éviter d'éventuelles fuites d'huile.

Avec un faisceau laser carré de 2 mm de côté, et une tête galvanométrique assurant le balayage d'une surface carrée de 10 cm de côté peut être effectué en quelques dizaine de secondes à quelques minutes selon la dose requise en chaque point de la surface à traiter.

Le rayon d'action du robot Stäubli de type RX 170L ne permet pas de maintenir le faisceau laser orthogonal à la surface à traiter à toutes les hauteurs. Au delà d'environ 2 m, il convient d'incliner progressivement le faisceau laser par rapport à cette surface, en maintenant le faisceau sur chaque point à traiter d'autant plus longtemps que l'incidence s'éloigne de la normale, de manière à ce que la dose effectivement reçue reste la même.

## **REVENDEICATIONS**

1. Procédé d'ablation laser d'une surface (218) située dans une zone (206) de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser (216) émis par une cavité (204, 302) associée à des moyens de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité, caractérisé en ce qu'on associe la cavité (204, 302) aux moyens (202) de pompage par l'intermédiaire d'une fibre optique (210, 310) transmettant le rayonnement électromagnétique de telle sorte que ces moyens de pompage soient maintenus à l'extérieur de la zone (206) de nettoyage.
2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que le nettoyage s'effectue dans un environnement (206) toxique, par exemple radioactif, de telle sorte que la zone (206) de nettoyage est considérée comme une zone contaminée.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le faisceau laser (216) d'ablation est émis de façon impulsionnelle.
4. Procédé selon la revendication 1, 2, 3 ou 4 caractérisé en ce que le rayonnement électromagnétique de pompage est fourni de façon continue par la fibre optique (210).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, une pluralité de fibres étant utilisée pour transmettre l'énergie de pompage, caractérisé en ce que cette énergie de pompage est diffusée transversalement par rapport à l'axe du milieu laser situé dans la cavité (204, 302).
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'énergie de pompage est transmise par des diodes fibrées (215, 306).
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la surface (218) nettoyée est radioactive.
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'on modifie la longueur d'onde du faisceau laser (216) généré par la cavité (204, 302) au moyen d'au moins cristal non linéaire (224) afin que cette longueur d'onde soit comprise dans le domaine UV.

### REVENDICATIONS

1. Procédé d'ablation laser d'une surface (218) située dans une zone (206) de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser (216) émis par une cavité (204, 302) associée à des moyens de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité, caractérisé en ce qu'on associe la cavité (204, 302) aux moyens (202) de pompage par l'intermédiaire d'une fibre optique (210, 310) transmettant le rayonnement électromagnétique de telle sorte que ces moyens de pompage soient maintenus à l'extérieur de la zone (206) de nettoyage.
2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que le nettoyage s'effectue dans un environnement (206) toxique, par exemple radioactif, de telle sorte que la zone (206) de nettoyage est considérée comme une zone contaminée.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le faisceau laser (216) d'ablation est émis de façon impulsionnelle.
4. Procédé selon la revendication 1, 2, ou 3 caractérisé en ce que le rayonnement électromagnétique de pompage est fourni de façon continue par la fibre optique (210).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, une pluralité de fibres étant utilisée pour transmettre l'énergie de pompage, caractérisé en ce que cette énergie de pompage est diffusée transversalement par rapport à l'axe du milieu laser situé dans la cavité (204, 302).
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'énergie de pompage est transmise par des diodes fibrées (215, 306).
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la surface (218) nettoyée est radioactive.
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'on modifie la longueur d'onde du faisceau laser (216) généré par la cavité (204, 302) au moyen d'au moins cristal non

9. Procédé selon la revendication 9 caractérisé en ce que la longueur d'onde modifiée est inférieure à 400 nm.

10. Procédé selon l'une des revendications 9 ou 10 caractérisé en ce qu'on dépose une couche de liquide ou des gouttelettes sur la surface traitée (218).

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la fibre (210) a une longueur supérieure à cinq mètres.

12. Dispositif (200) d'ablation laser d'une surface située dans une zone (206) de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser (216) émis par une cavité (204, 302) associée à des moyens (202) de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité (204, 302), caractérisé en ce qu'il comprend une fibre optique (210) transmettant le rayonnement électromagnétique des moyens (202) de pompage à la cavité (204, 302) selon l'un des procédés conformes à l'une des revendications précédentes.

13. Système robotisé d'ablation laser d'une surface comprenant un dispositif conforme à la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend un bras (212) articulé apte à effectuer un balayage de la surface à ablater.

14. Système robotisé selon la revendication 13 caractérisé en ce que la surface à ablater est dans un environnement fortement radioactif, et en ce que le bras articulé (212) est un robot apte à fonctionner en présence de rayonnements nucléaires ambiants.

linéaire (224) afin que cette longueur d'onde soit comprise dans le domaine UV.

9. Procédé selon la revendication 8 caractérisé en ce que la longueur d'onde modifiée est inférieure à 400 nm.

5 10. Procédé selon la revendication 9 caractérisé en ce qu'on dépose une couche de liquide ou des gouttelettes sur la surface traitée (218).

10 11. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la fibre (210) a une longueur supérieure à cinq mètres.

15 12. Dispositif (200) d'ablation laser d'une surface située dans une zone (206) de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser (216) émis par une cavité (204, 302) associée à des moyens (202) de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité (204, 302), caractérisé en ce qu'il comprend une fibre optique (210) transmettant le rayonnement électromagnétique des moyens (202) de pompage à la cavité (204, 302) selon l'un des procédés conformes à l'une des revendications précédentes.

20 13. Système robotisé d'ablation laser d'une surface comprenant un dispositif conforme à la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend un bras (212) articulé apte à effectuer un balayage de la surface à ablater.

25 14. Système robotisé selon la revendication 13 caractérisé en ce que la surface à ablater est dans un environnement fortement radioactif, et en ce que le bras articulé (212) est un robot apte à fonctionner en présence de rayonnements nucléaires ambiants.

30

35

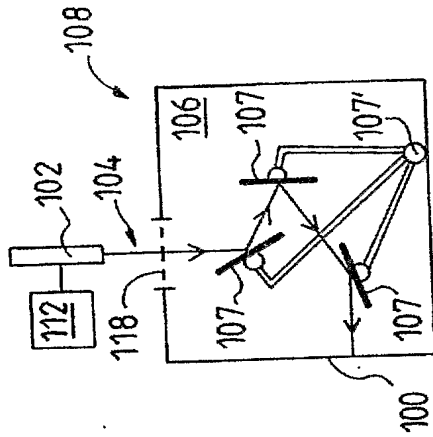


FIG. 1a

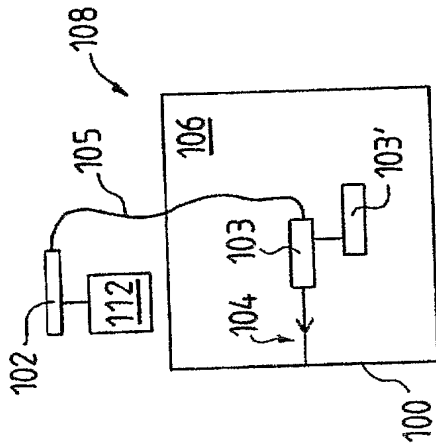


FIG. 1b

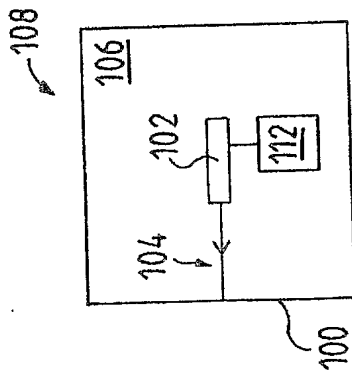


FIG. 1c

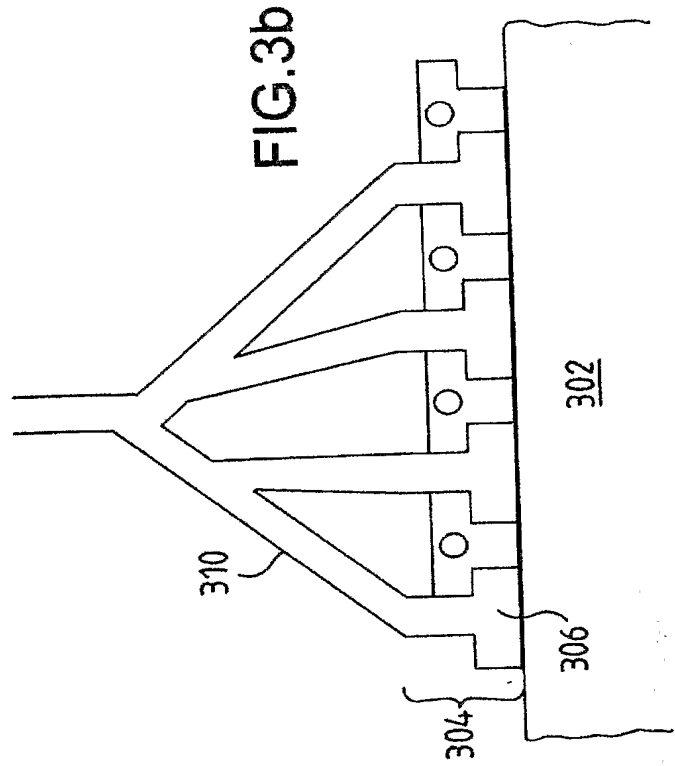


FIG. 3a

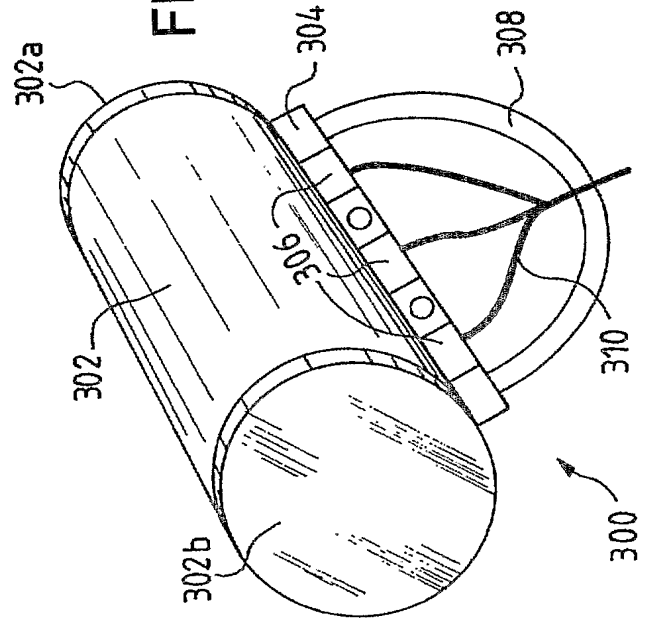
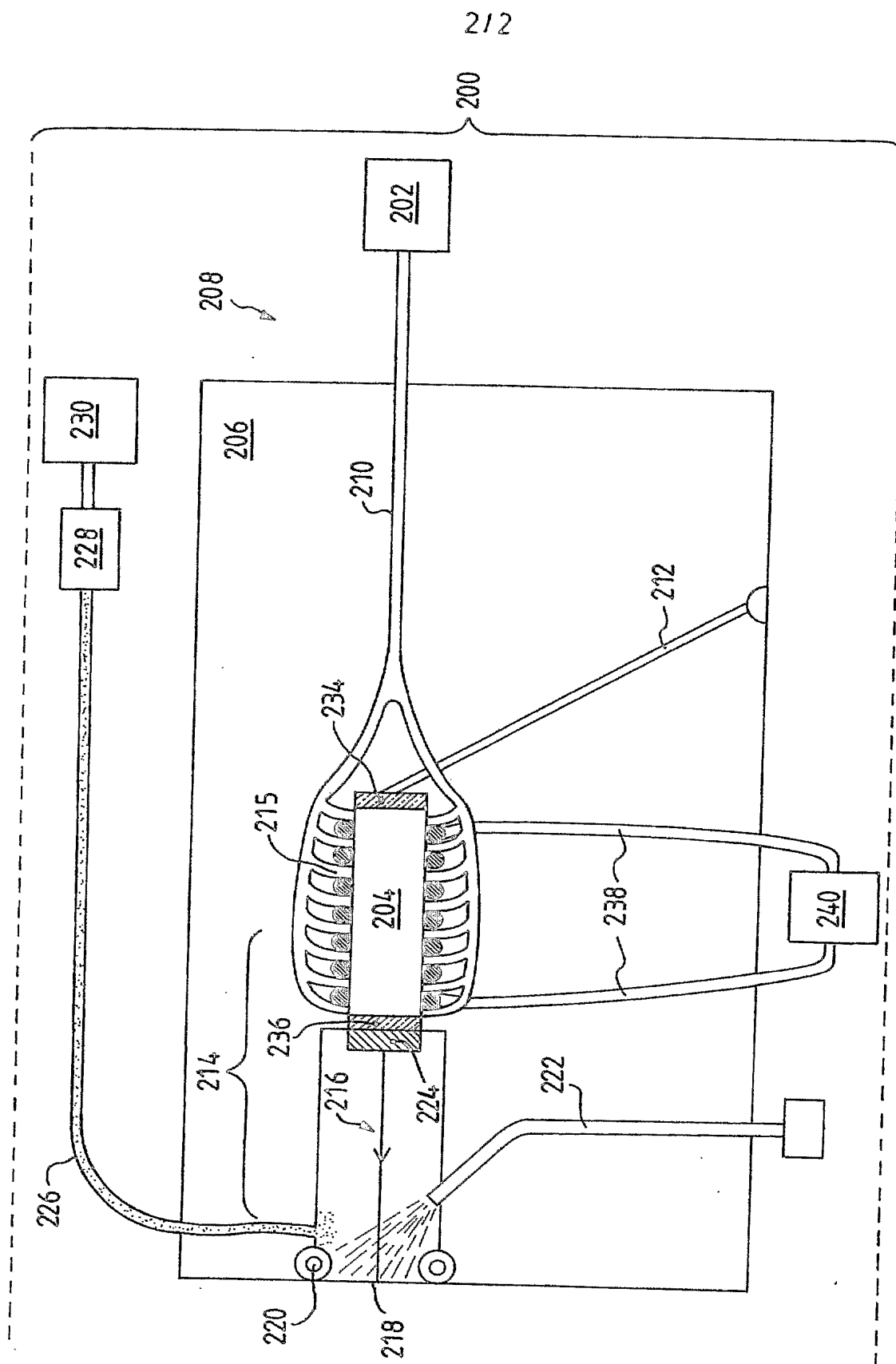


FIG. 3b



256





## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

### Désignation de l'inventeur

Vos références pour ce dossier	B10945 FR
N°D'ENREGISTREMENT NATIONAL	
TITRE DE L'INVENTION	Procédé et dispositif de nettoyage d'une surface au moyen d'un faisceau laser.
LE(S) DEMANDEUR(S) OU LE(S) MANDATAIRE(S):	
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S):	
Inventeur 1	
Nom	THRO
Prénoms	Pierre-Yves
Rue	2, rue Raoul Dautry
Code postal et ville	91190 GIF-SUR-YVETTE
Société d'appartenance	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

#### Signé par

Signataire: FR, Cabinet Grynwald, A.Grynwald

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

#### Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)

**PCT/FR2004/050738**

